



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 199 05 538 A 1**

51 Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**H 02 K 1/32**  
H 02 K 9/02  
H 02 K 1/30

21 Aktenzeichen: 199 05 538.6  
22 Anmeldetag: 10. 2. 1999  
43 Offenlegungstag: 17. 8. 2000

DE 199 05 538 A 1

71 Anmelder:  
ZF Friedrichshafen AG, 88046 Friedrichshafen, DE

72 Erfinder:  
Bachmann, Max, 88339 Bad Waldsee, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
zu ziehende Druckschriften:

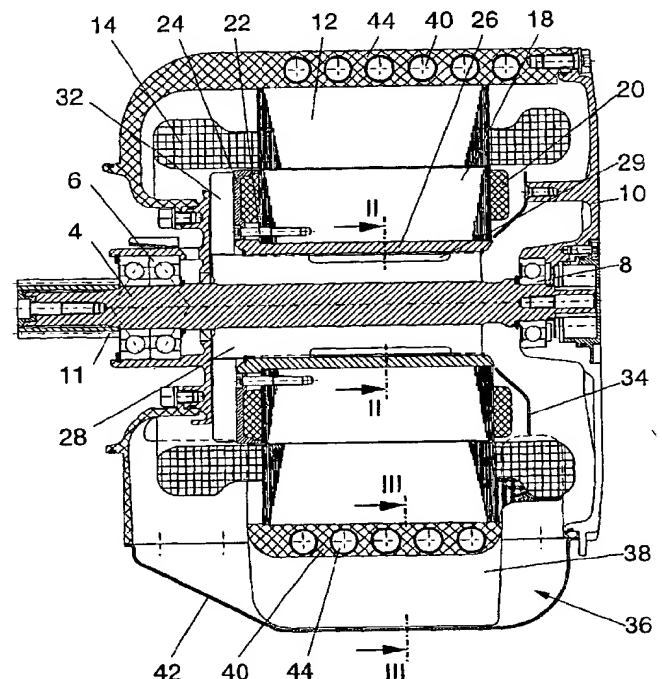
DE 44 14 219 C2  
DE 28 52 980 C2  
DE-PS 6 47 315  
DE-AS 11 25 535  
DE 197 37 163 A1  
DE 195 04 531 A1  
DE-OS 21 49 286  
DE-OS 18 03 685  
US 58 61 700  
US 24 84 386  
WO 97 14 207 A1

JP 10042501 A., In: Patent Abstracts of Japan;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Elektrische Maschine

57 Es wird eine elektrische Maschine (2) mit einem außenliegenden Stator und einem innenliegenden, drehbar gelagerten Rotor vorgeschlagen, der ein Rotorblechpaket (18) und eine mit dem Rotorblechpaket (18) drehfest verbundene Rotorwelle (4) aufweist. Der Rotor ist hohl und die Rotorwelle (4) als eine Stegwelle ausgebildet, die an ihrem Umfang eine Anzahl von Stegen (28, 46) aufweist, die zur Bildung kleiner Wärmeübergangsflächen nur an nahezu linienförmigen Berührungsflächen an dem Rotorblechpaket (18) oder einer Zwischenwelle (26) anliegen.



DE 199 05 538 A 1

Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine insbesondere als Elektromotor zum Antreiben von Fahrzeugen nach dem Oberbegriff von Anspruch 1.

Derartige Maschinen sind häufig Asynchronmaschinen, die mit einem Stator und einem in dem Stator vorgesehenen Rotor ausgebildet sind. Der Rotor wird als Kurzschlußläufer ausgebildet und besteht vorzugsweise aus elektrisch leitfähigem Aluminium, das in Form eines Druckgusses zum Rotor geformt wird. Das Aluminium wird bei der Herstellung in die vom Blechpaket des Rotors gebildeten Nuten eingegossen und an den Stirnseiten des Rotors werden die Aluminiumstränge aus den jeweiligen Nuten zu einem Ring zusammengeschlossen und damit kurzgeschlossen (Kurzschlußkäfig). Die Asynchronmotoren sind vorwiegend hoch ausgenutzte Motoren, deren Wärmeentwicklung eine optimierte Kühlung verlangen.

Eine derartige elektrische Maschine ist beispielsweise aus der EP 0 484 548 B1 bekannt. Die verwendeten elektrischen Maschinen weisen einen innenliegenden Rotor mit Rotorwelle und Rotorblechpaket und einen außenliegenden Stator auf. Die elektrische Maschine ist mit dem Kühlkreislauf des Fahrzeuges verbunden.

Ein besonderes Problem bei der Kühlung derartiger elektrischer Maschinen besteht in der Lagerung der Rotorwelle und in deren Dichtungen. Die von der Rotorwelle auf die Lager übertragenen Temperaturen führen zu Beschädigungen an den Lagern und damit nach kurzer Zeit zum Ausfall der Maschine. Wegen hoher Temperaturen in der Motorwelle entstehen in der Lagerung hohe Differenztemperaturen zwischen Lagerinnenring und Lageraußenring.

Gleichzeitig ist der Transport eines Kühlmediums in der elektrischen Maschine durch die baulich bedingte räumliche Begrenzung erschwert, wodurch die anfallenden Temperaturen insbesondere bei hoch ausgenutzten Maschinen nur schwer aus der Maschine abgeführt werden können.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Maschine aufzuzeigen, bei der die Lagerungen der Maschine vor Beschädigungen geschützt ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch die Erfindung mit den Merkmalen von Anspruch 1. Ausgestaltungen des erfinderischen Gedankens sind Gegenstand von Unteransprüchen. Die von elektrischen Maschinen erzeugte Wärme muß zur Kühlung der Maschine an ein Kühlmedium abgegeben werden, daß mit der Maschine in Verbindung bringbar ist. Ein vorteilhaftes Kühlmedium stellt die Luft dar, die ihrerseits mit geeigneten Mitteln wieder rückgeköhlt wird oder sich gegen andere Luft austauscht. Luft ist ein hervorragender Isolator, so daß in der elektrischen Maschine keine besonderen elektrischen Isolationen durchgeführt werden müssen, um die verschiedenen Bauteile der Maschine gegen Kurzschlußprobleme zu schützen, die im Zusammenhang mit dem Kühlmedium auftreten könnten. Um das Kühlmedium in der Maschine sicher zu führen, müssen mögliche Strömungshindernisse weitestgehend vermieden werden.

Erfindungsgemäß wird in einer elektrischen Maschine, die einen außenliegenden Stator und einem innenliegenden, drehbar gelagerten Rotor, ein Rotorblechpaket und eine mit dem Rotorblechpaket drehfest verbundene Rotorwelle aufweist, der Rotor hohl und die Rotorwelle als eine Stegwelle ausgebildet. Die Stegwelle weist an ihrem Umfang eine Anzahl von Stegen auf, die zur Bildung kleiner Wärmeübergangsflächen nur an nahezu linienförmigen Berührungsflächen an dem Rotorblechpaket anliegen. Die Stege sind so ausgeführt, daß sie die benötigte Festigkeit und Steifigkeit aufweisen, aber mit einem möglichst geringen Flächenkon-

takt mit dem wärmeerzeugenden Blechpaket in Berührung kommt.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung weist zwischen dem Rotorblechpaket und der Rotorwelle eine hohle Zwischenwelle auf, auf der das Rotorblechpaket angeordnet ist. In einer vorteilhaften Ausgestaltung ist der Querschnitt der Rotorwelle in der Form eines Sterns mit vier Stegen ausgebildet. Eine andere vorteilhafte Ausgestaltung zeigt die Rotorwelle in der Form von drei sichelförmigen Stegen. Eine Ausführung weist Stege auf, die in Form von Leitradschaukeln ausgebildet sind. In einer anderen vorteilhaften Gestaltung besitzt die Rotorwelle die Form eines Schneckenförderers. In einer vorteilhaften Ausgestaltung sind die Stege unterbrochen und liegen nicht auf ihrer gesamten Länge an der Zwischenwelle bzw. dem Rotorblechpaket an. Vorzugsweise sind die Anlagestellen an den axialen Enden der Stege. In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung ist die Rotorwelle als separates Gesenkschmiedeteil oder Feingußteil gefertigt und in die hohle Zwischenwelle bzw. das Rotorblechpaket zur Erreichung eines Preßsitzes eingepreßt. Vorteilhafte Ausführungsformen zeigen die Rotorwelle aus einem schlecht wärmeleitenden Material, vorzugsweise ein hochlegierter Stahl oder Titan.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung kann in dem Bereich zwischen Rotorblechpaket bzw. hohler Zwischenwelle, der Rotorwelle und den Stegen ein Kühlmedium hindurch geführt werden, welches vorzugsweise Luft ist.

Die Erfindung wird anhand von Figuren näher beschrieben.

Es zeigen:

**Fig. 1** eine elektrische Maschine mit sternförmiger Stegwelle;

**Fig. 2** einen Schnitt durch Stegwelle und Rotorwelle nach **Fig. 1**;

**Fig. 3** einen Schnitt durch den Wärmetauscher nach **Fig. 1**;

**Fig. 4** eine elektrische Maschine mit sichelförmiger Stegwelle;

**Fig. 5** einen Schnitt durch Stegwelle und Blechpaket nach **Fig. 4**;

**Fig. 6** eine elektrische Maschine mit Lüftereinrichtung in der Rotorwelle;

**Fig. 7** einen Schnitt durch Stegwelle und Rotorwelle nach **Fig. 6**;

**Fig. 8** eine elektrische Maschine mit schneckenförmiger Stegwelle;

**Fig. 9** einen Schnitt durch den Wärmetauscher mit Kühlwanne;

**Fig. 10** einen weiteren Schnitt durch den Wärmetauscher mit Kühlwanne;

**Fig. 11** einen Schnitt durch die Kühlwanne nach **Fig. 9** und

**Fig. 12** einen Schnitt durch die Kühlwanne nach **Fig. 10**.

Die **Fig. 1** zeigt eine elektrische Maschine 2 mit einer Rotorwelle 4, die in einer ersten Lagerung 6 und in einer zweiten Lagerung 8 drehbar in einem Gehäuse 10 gelagert ist. Die Rotorwelle 4 weist eine Verzahnung 11 auf, über die die elektrische Maschine 2 mit weiteren und hier nicht gezeigten Elementen des Antriebsstranges zusammenwirkt. In dem Gehäuse 10 ist ein Statorblechpaket 12 angeordnet, durch das die Statorwicklung 14 hindurchragt. Mit einem geringen Luftspalt 16 beabstandet liegt radial innerhalb des Statorblechpakets 12 ein Rotorblechpaket 18, das von Metallstäben 20, vorzugsweise aus Aluminium durchdrungen wird. Eine Kappe 24 ist an dem Rotorblechpaket 18 mit Verschraubungen 22 befestigt. Alternativ können die Metallstäbe 20 auch in das Rotorblechpaket 18 in einem Druck-

gußverfahren eingepreßt werden. Das Rotorblechpaket 18 sitzt auf einer runden, hohlen Zwischenwelle 26 auf. Innerhalb der Zwischenwelle 26 ist die Rotorwelle 4 drehfest angeordnet, beispielsweise mit Preßsitz eingepreßt. Die Rotorwelle 4 kann jedoch unmittelbar in das Rotorblechpaket 18 eingepreßt sein. Die Rotorwelle 4 weist vier Stege 28 auf, die in der Form eines Sternes angeordnet sind (siehe Fig. 2). Die Stege 28 weisen in der hier gezeigten Anordnung Ausparungen 29 auf, so daß die Stege 28 nicht auf ihrer vollen Länge an der Innenwand der hohlen Zwischenwelle 26 anliegen. In den Zwischenräumen 30 zwischen den Stegen 28 kann ein erstes Kühlmedium, vorzugsweise Luft, durch die Zwischenwelle 26 bzw. das Rotorblechpaket 18 gefördert werden. Dazu ist an einem axialen Ende des Rotorblechpaketes 18 ein Lüfterrad 32 angeordnet, das eine Strömung des Kühlmediums hervorruft. An dem anderen axialen Ende des Rotorblechpaketes 18 ist ein Blechring 34 vorgesehen, der das durch einen Wärmetauscher 36 strömende Kühlmedium drallfrei in Richtung auf die Rotorwelle 26 leitet. Der Wärmetauscher 36 weist Kühlrippen 38 (siehe Fig. 3) auf, die das Kühlmedium durchströmt und die in der hier gezeigten Ausgestaltung von dem Gehäuseteil 40 gebildet werden. Die Kühlrippen 38 sind nach außen von einem Deckel 42 begrenzt, der an das Gehäuseteil 40 angeschraubt ist.

In dem Gehäuseteil 40 sind Kühlrohre 44 vorgesehen, durch die ein zweites Kühlmedium strömt. Die vom ersten Kühlmedium im Wärmetauscher 36 über die Kühlrippen 38 auf die Kühlrohre 44 übertragene Wärme wird vom zweiten Kühlmedium von der elektrischen Maschine 2 wegtransportiert. Gleichzeitig kann vom Statorblechpaket 12 Wärme auf die Kühlrohre 44 übertragen werden, wodurch eine Kühlung des Statorblechpaketes 12 erfolgt.

In der in Fig. 4 gezeigten Anordnung weist die elektrische Maschine 2 eine Rotorwelle 4 auf, die drei sichelförmig gebogene Stege 46 besitzt. Die sichelförmig geschwungene Form der Stege 46 erlaubt ein hohes Arbeitsvermögen bezüglich der aufzunehmenden Spannungsenergie beim Einpreßvorgang der Stegwelle 4 in das Blechpaket 18. Dabei können Setzungen und Fertigungstoleranzen egalisiert bzw. aufgefangen werden.

Die Kühlrohre 48 sind in der hier gezeigten Ausführungsform mit einem rechtwinkligen Querschnitt versehen. Die Lagerung 50, die hier als Rollenlager ausgeführt ist, weist hinter einer Kappe 52 ein Fettdepot auf.

In der Fig. 6 befinden sich innerhalb der Zwischenwelle 26 keine Stege, sondern Lüftereinrichtungen 54, wobei in der hier gezeigten Anordnung an jedem axialen Ende der Zwischenwelle 26 eine Einrichtung 54 vorgesehen ist. Der Innenring 56 der Lüftereinrichtung 54 ist über eine Verzahnung 58 drehfest mit der Rotorwelle 4 verbunden (siehe Fig. 7). Der Außenring 60 ist über eine Verzahnung 62 drehfest mit der Zwischenwelle 26 verbunden. Die Flügel 64 der Lüftereinrichtung 54 transportieren das erste Kühlmedium, auch hier vorzugsweise Luft, durch die hohle Zwischenwelle 26 bzw. das Rotorblechpaket 18. Die Berührungsflächen zum Wärmeübergang zwischen Zwischenwelle 26 und Rotorwelle 4 sind hier sehr begrenzt.

Die in der Fig. 8 gezeigte Ausführungsform weist eine Rotorwelle 4 auf, die wie ein Schneckenförderer geformt ist. Die Stege sind schneckenförmig gewunden und können so bei Rotation das erste Kühlmedium durch die hohle Zwischenwelle 26 fördern. Auch hier beschränkt sich die Berührungsfläche zwischen der Zwischenwelle 26 und der Rotorwelle 4 auf quasi linienförmige Berührungsflächen entlang der Stege, so daß der Wärmeübergang weitgehend gering gehalten werden kann. Gleichzeitig kann wie bei allen vorher beschriebenen Ausführungsformen das Material der Rotorwelle 4 so gewählt sein, daß eine schlechte Wärmeleitung

erzielt wird. Als derartige Materialien eignen sich insbesondere hochlegierte Stähle oder Titan.

In den Fig. 9 bis Fig. 12 werden unterschiedliche Ausgestaltungen des Wärmetauschers 36 beschrieben. In der Fig. 9 sind die Kühlrohre 44 so angeordnet, daß sie nur über einen Teil ihres Umfanges im Gehäuseteil 40 eingebettet sind. Der andere Teil des Umfanges strahlt die vorhandene Wärme in Richtung auf die Kühlrippen 38 ab, die in einer Kühlwanne 66 angeordnet sind. Die Kühlwanne 66 ist mit dem Gehäuse 10 verbunden, die wiederum von außen gekühlt wird. Die Fig. 11 zeigt einen Schnitt durch den Wärmetauscher 36 nach Fig. 9. Die Kühlrohre 44 ragen bis nahe an die Kühlrippen 38 heran, so daß die Wärme gut aufgenommen werden kann. Mit Verschraubungen 68 ist die Kühlwanne 66 an das Gehäuse 10 angeschraubt.

Auch in der Fig. 10 sind die Kühlrohre 44 so angeordnet, daß sie nur über einen Teil ihres Umfanges im Gehäuseteil 40 eingebettet sind. Der andere Teil des Umfanges strahlt die vorhandene Wärme in Richtung auf die Kühlrippen 38 ab, die in einer Kühlwanne 66 angeordnet sind. Die Kühlwanne 66 ist mit dem Gehäuse 10 verbunden. Mit den Kühlrohren 44 sind hier in Strichen dargestellte Kühlrohre 70 verbunden, die sich innerhalb des Bereichs der Kühlrippen 38 befinden und diese durchdringen und die die Kühlrohre 44 unter einem Winkel von 90° kreuzen. Dabei durchziehen die Kühlrohre 70 vorzugsweise die Kühlrippen 38 in der Form eines Mäanders und sind am Anfang und Ende mit den Kühlrohren 44 verbunden. Die Kühlrohre 70 können auch von einem niedrig temperierten Kühlmedium durchflossen sein, das von außerhalb dem Motor zugeführt wird.

Die Fig. 12 zeigt einen Schnitt durch den Wärmetauscher 36 nach Fig. 10. Die Kühlrohre 44 ragen bis nahe an die Kühlrippen 38 heran, so daß die Wärme gut aufgenommen werden kann. Die Kühlrippen 38 bilden hier einen separaten Kühler 72, der in der Kühlwanne 66 angeordnet ist. Die Kühlrippen 38 sind von den Kühlrohren 70 durchzogen, wobei die Strömung des zweiten Kühlmediums in je zwei nebeneinander liegenden Kühlrohren 70 jeweils in die entgegengesetzte Richtung erfolgt. Mit Verschraubungen 68 ist die Kühlwanne 66 an das Gehäuse 10 angeschraubt.

Rotor und Stator können in kompakter Bauweise ausgeführt werden und damit eine hohe Ausnutzung der Maschine erreicht werden. Die elektrischen Leistungsdaten des Rotors werden in der erfindungsgemäßen Maschine nicht beeinflusst. Die Fertigung von Zwischenwelle und der darin befestigten Rotorwelle ist einfach und kostengünstig. Der Wärmeübergang vom warmen Rotorblechpaket in die Rotorwelle wird stark reduziert. Das Temperaturniveau an den verschiedenen nachgeschalteten Maschinenelementen, wie Lagerungen oder Dichtringen, wird stark verringert.

Für verschiedene Maschinen und Anwendungen kann dieser Effekt bereits ohne zusätzliche Belüftung ausreichen, um die gewünschten thermischen Werte der elektrischen Maschinen zu erreichen.

#### Bezugszeichen

- 2 elektrische Maschine
- 4 Rotorwelle
- 6 Lagerung
- 8 Lagerung
- 10 Gehäuse
- 11 Verzahnung
- 12 Statorblechpaket
- 14 Statorwicklung
- 16 Luftspalt
- 18 Rotorblechpaket
- 20 Metallstab

22 Verschraubung  
 24 Kappe  
 26 Zwischenwelle  
 28 Steg  
 29 Aussparung  
 30 Zwischenraum  
 32 Lüfterrad  
 34 Blechring  
 36 Wärmetauscher  
 38 Kühlrippe  
 40 Gehäuseteil  
 42 Deckel  
 44 Kühlrohr  
 46 Steg  
 48 Kühlrohr  
 50 Lagerung  
 52 Kappe  
 54 Lüftereinrichtung  
 56 Innenring  
 58 Verzahnung  
 60 Außenring  
 62 Verzahnung  
 64 Flügel  
 66 Kühlwanne  
 68 Verschraubung  
 70 Kühlrohr  
 72 Kühler

# Patentansprüche

1. Elektrische Maschine (2) mit einem außenliegenden Stator und einem innenliegenden, drehbar gelagerten Rotor, der ein Rotorblechpaket (18) und eine mit dem Rotorblechpaket (18) drehfest verbundene Rotorwelle (4) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Rotor hohl ausgebildet ist und die Rotorwelle (4) als eine Stegwelle ausgebildet ist, die an ihrem Umfang eine Anzahl von Stegen (28, 46) aufweist, die zur Bildung kleiner Wärmeübergangsflächen nur an nahezu linienförmigen Berührungsflächen an dem Rotorblechpaket (18) anliegen.
2. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Rotorblechpaket (18) und der Rotorwelle (4) eine hohle Zwischenwelle (26) vorgesehen ist, auf der das Rotorblechpaket (18) angeordnet ist.
3. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Querschnitt der Rotorwelle (4) in der Form eines Sterns mit vier Stegen (28) ausgebildet ist.
4. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorwelle (4) in der Form von drei sichelförmigen Stegen (46) ausgebildet ist.
5. Elektrische Maschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorwelle (4) Stege (28, 46) aufweist, die in Form von Leitrad-schaufeln ausgebildet sind.
6. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorwelle (4) in Form eines Schneckenförderers ausgebildet ist.
7. Elektrische Maschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Stege (28, 46) unterbrochen sind und nicht auf ihrer gesamten Länge an der Zwischenwelle (26) bzw. dem Rotorblechpaket (18) anliegen.
8. Elektrische Maschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotor-

welle (4) als separates Gesenkschmiedeteil oder Feingußteil gefertigt ist und in die hohle Zwischenwelle (26) bzw. das Rotorblechpaket (18) zur Erreichung eines Preßsitzes eingepreßt ist.

9. Elektrische Maschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorwelle (4) aus einem schlecht wärmeleitenden Material hergestellt ist.

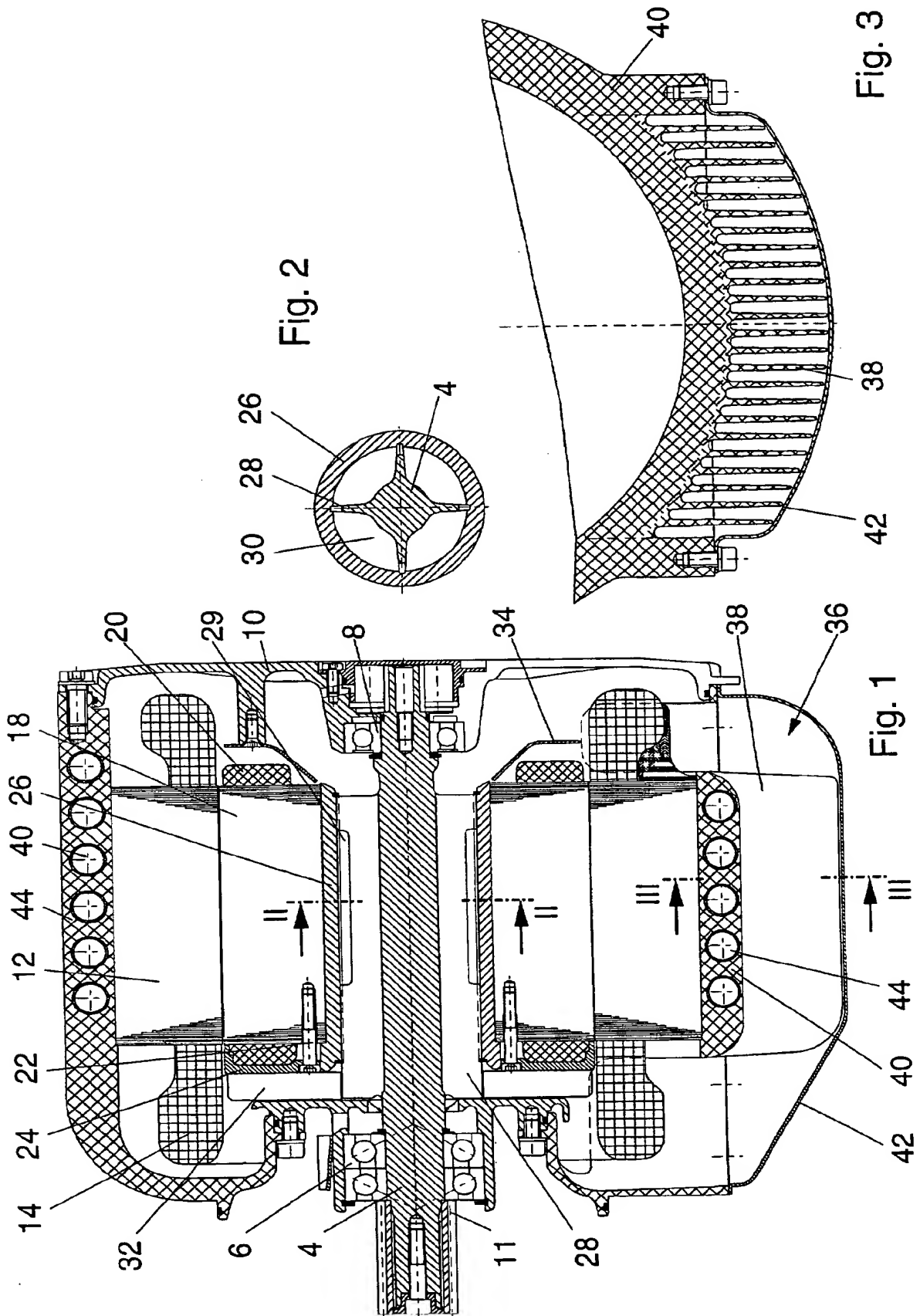
10. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das schlecht wärmeleitende Material ein hochlegierter Stahl ist.

11. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das schlecht wärmeleitende Material Titan ist.

12. Elektrische Maschine (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß in dem Bereich zwischen Rotorblechpaket (18) bzw. hohler Zwischenwelle (26), der Rotorwelle (4) und den Stegen (28, 46) ein Kühlmedium hindurch geführt werden kann.

13. Elektrische Maschine (2) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Kühlmedium Luft ist.

Hierzu 8 Seite(n) Zeichnungen



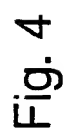
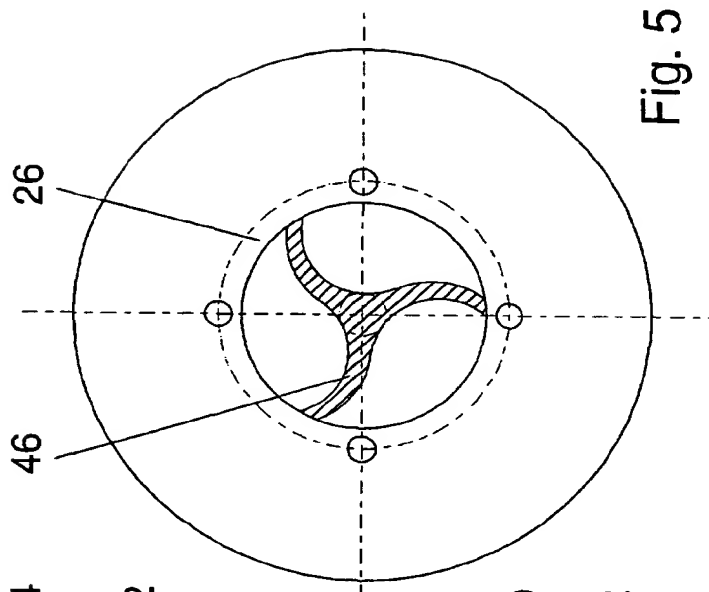
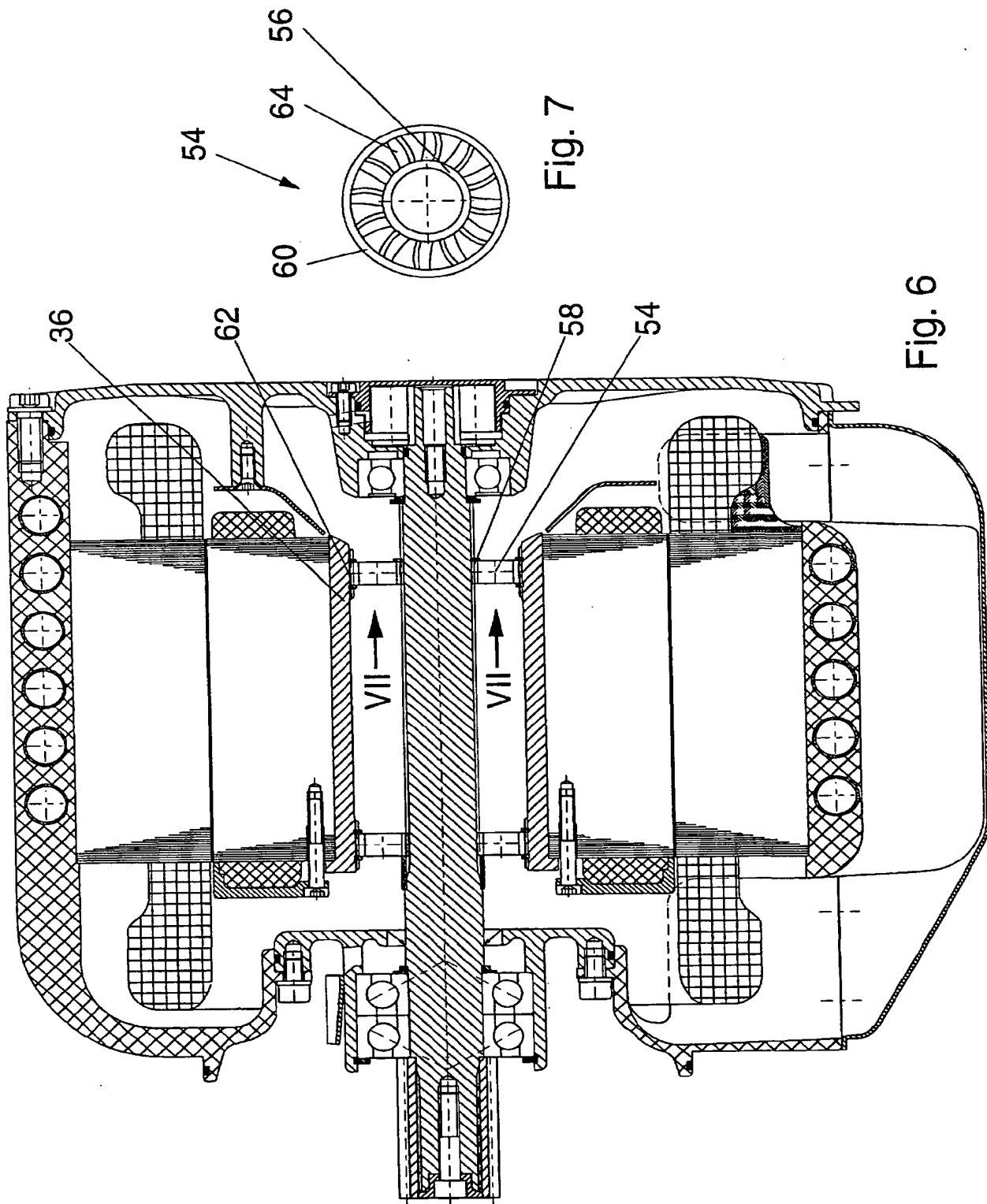


Fig. 5





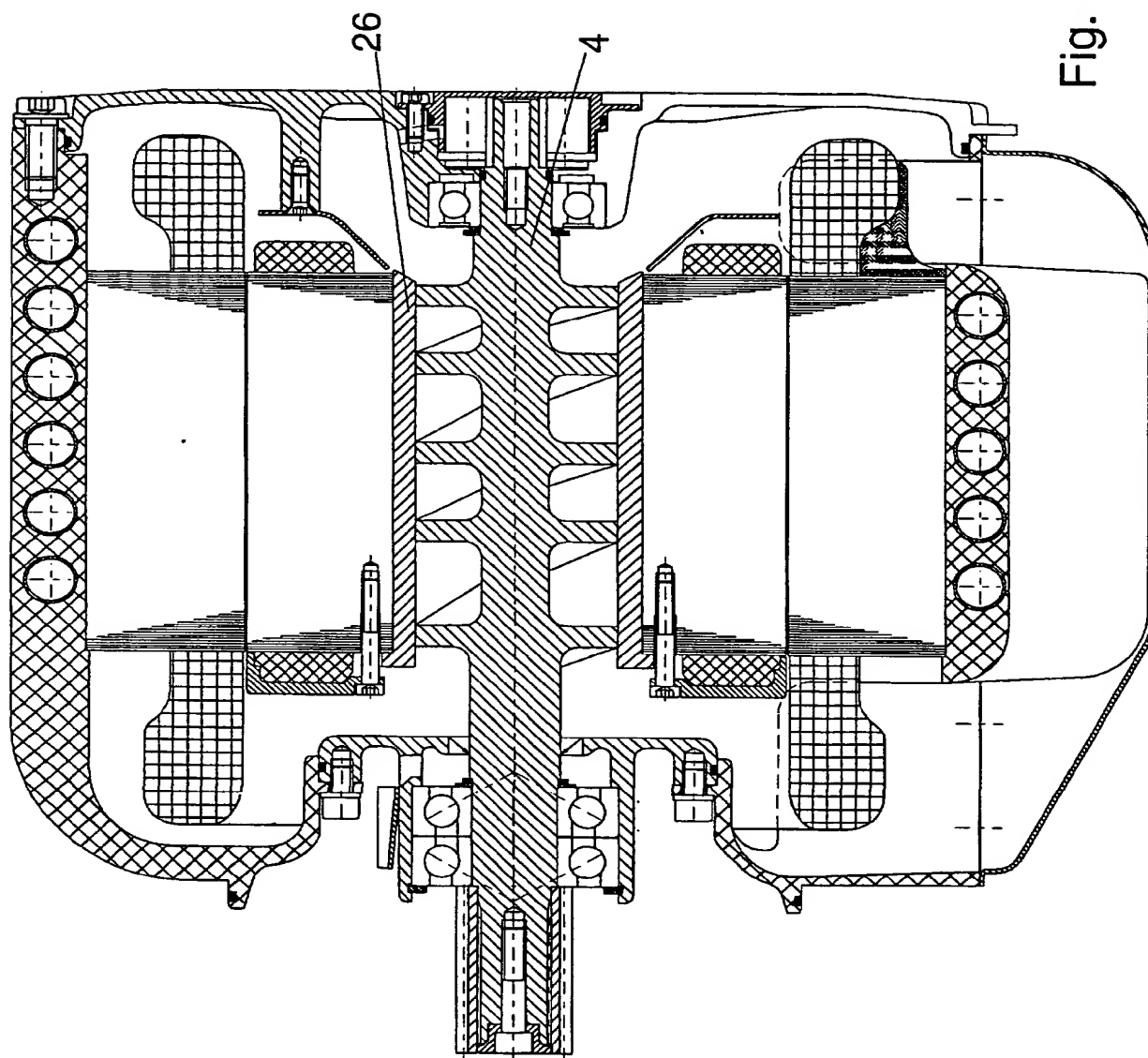


Fig. 8



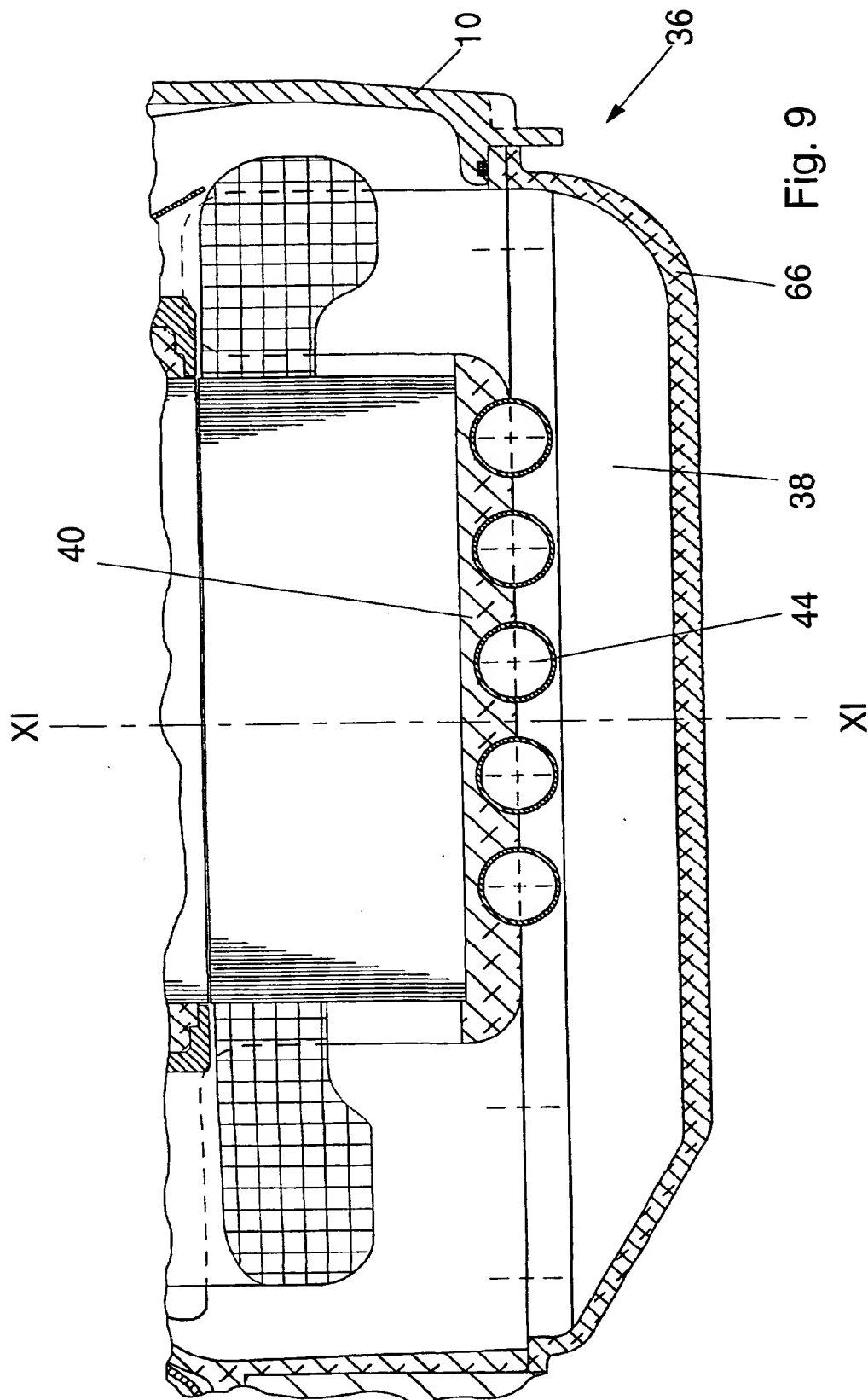
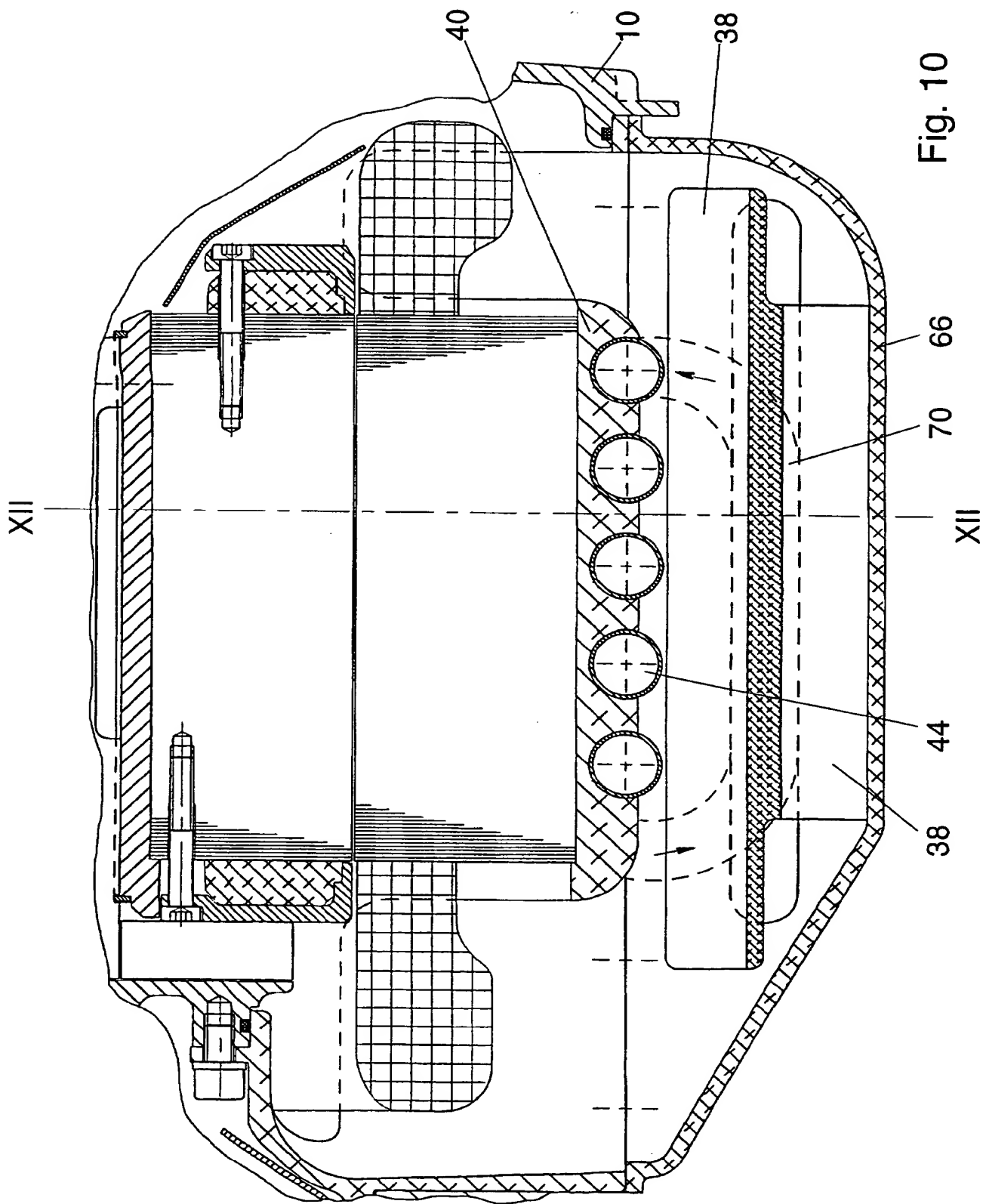


Fig. 9



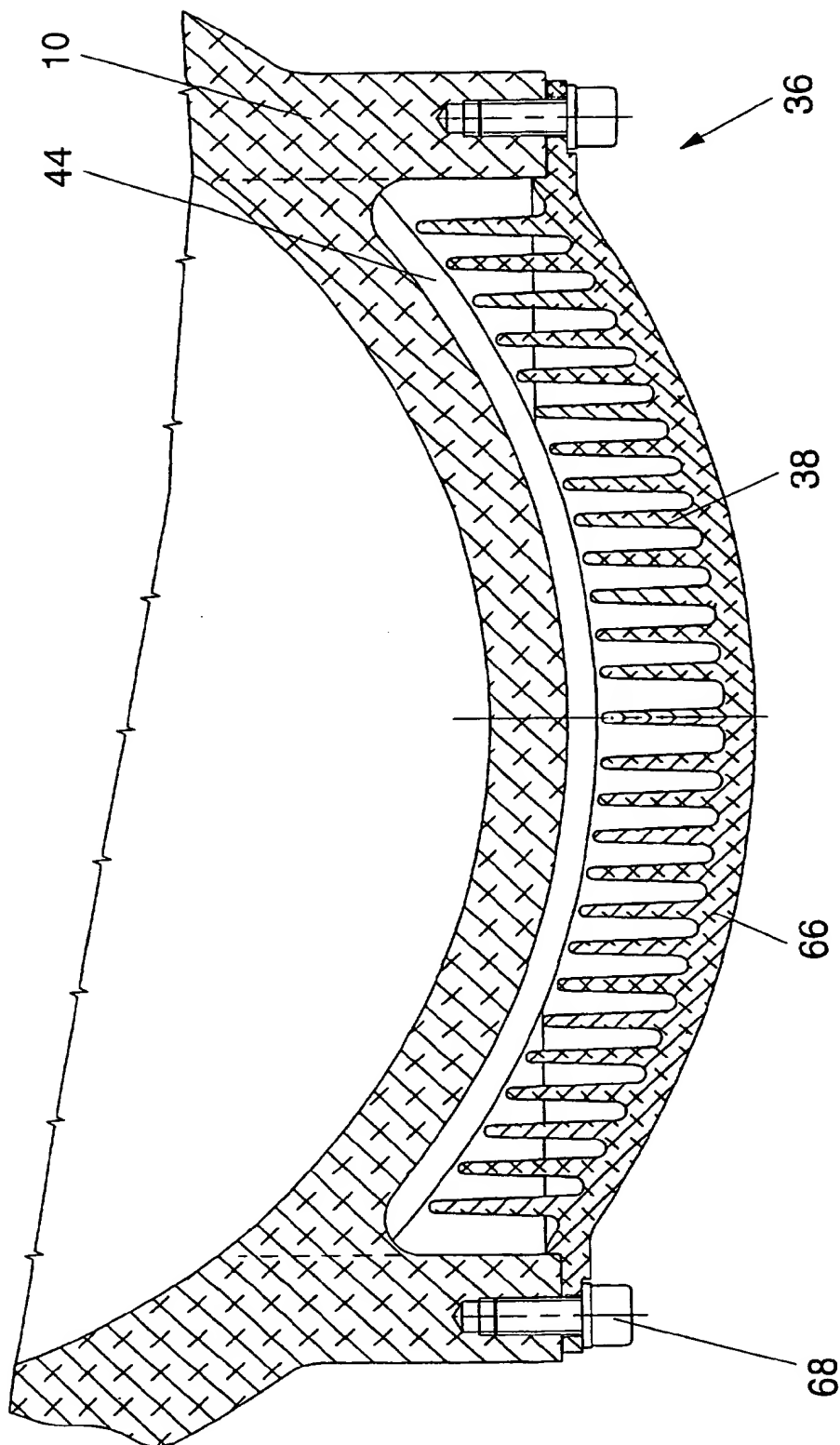


Fig. 11

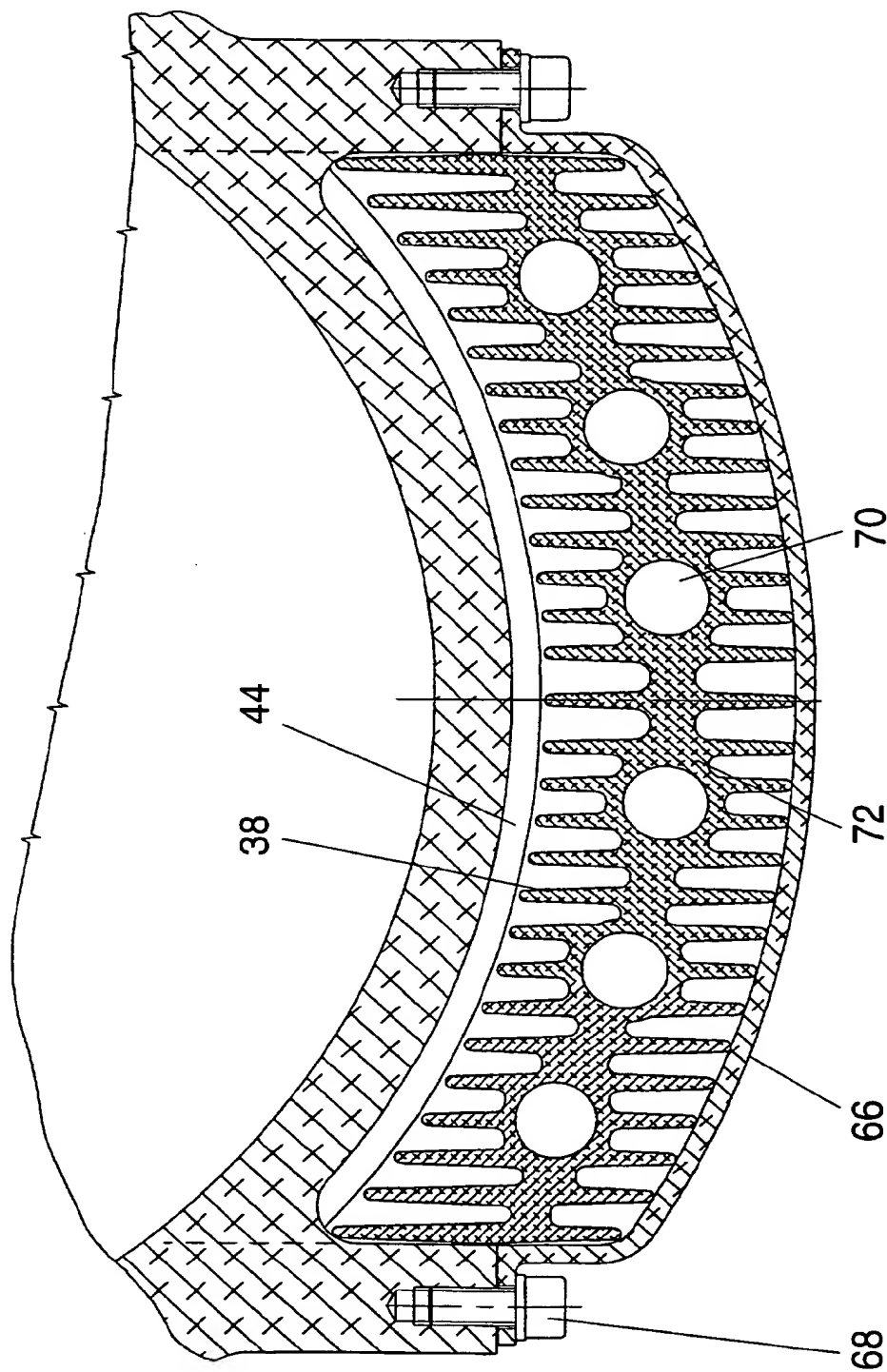
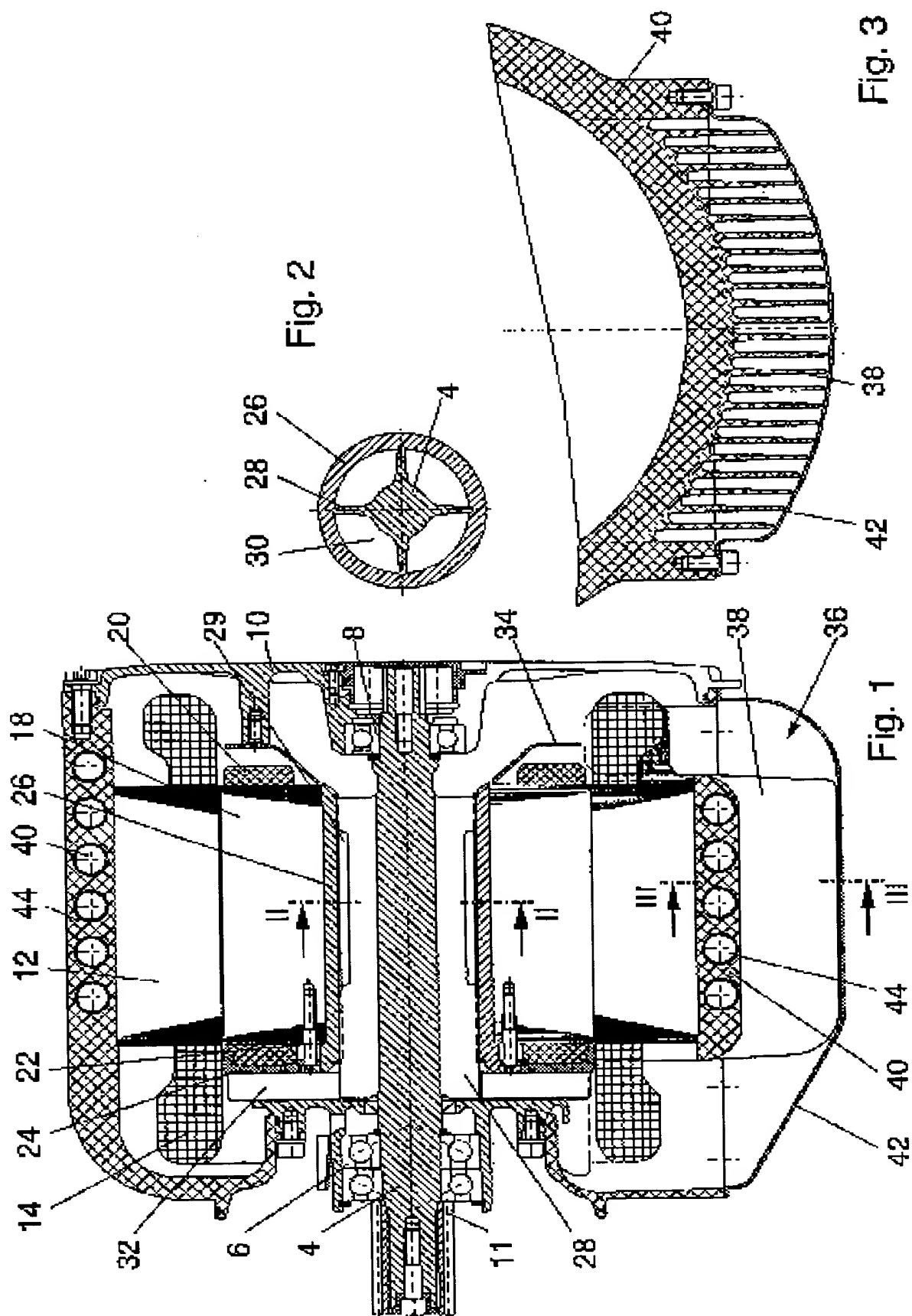


Fig. 12



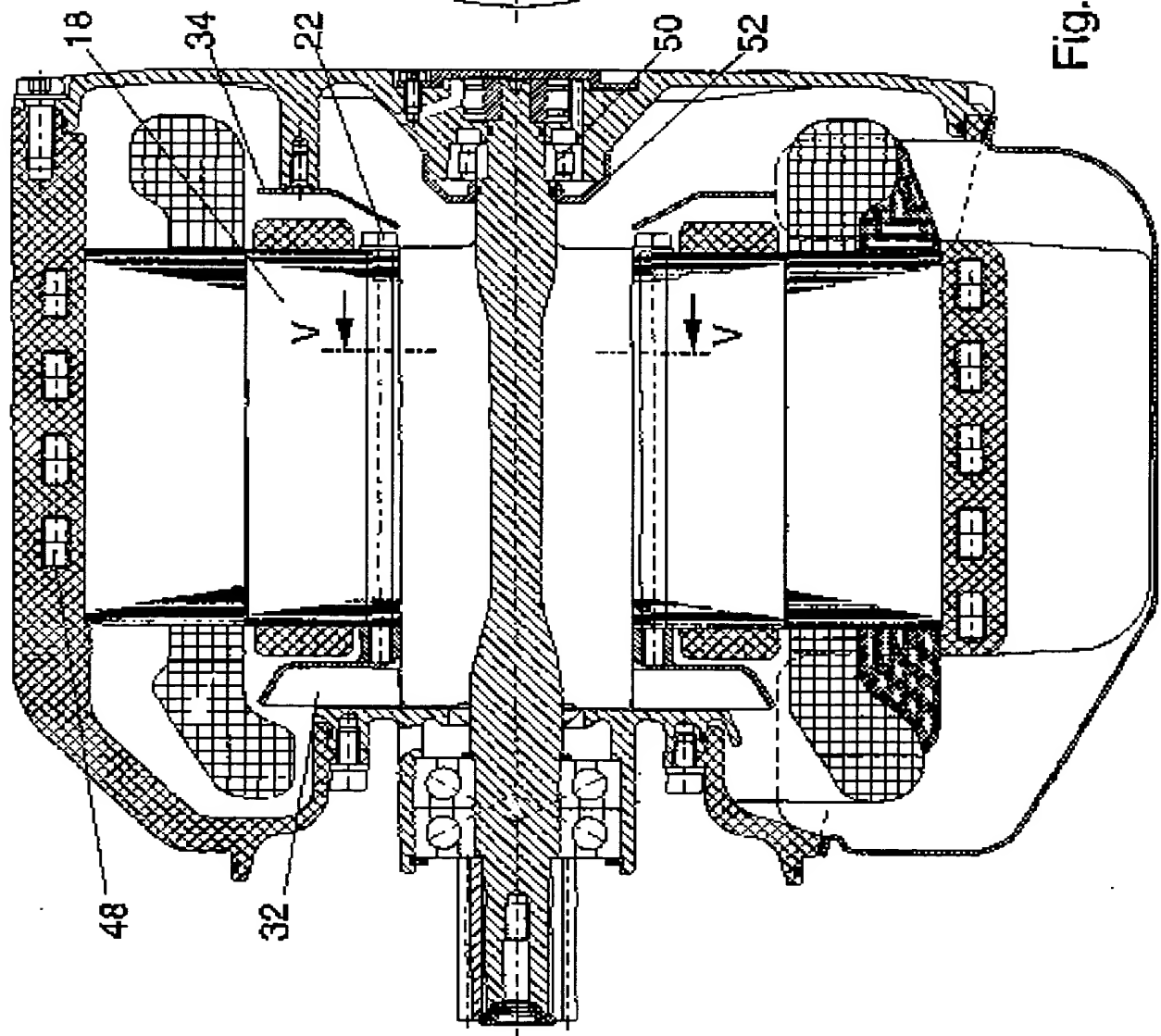


Fig. 4

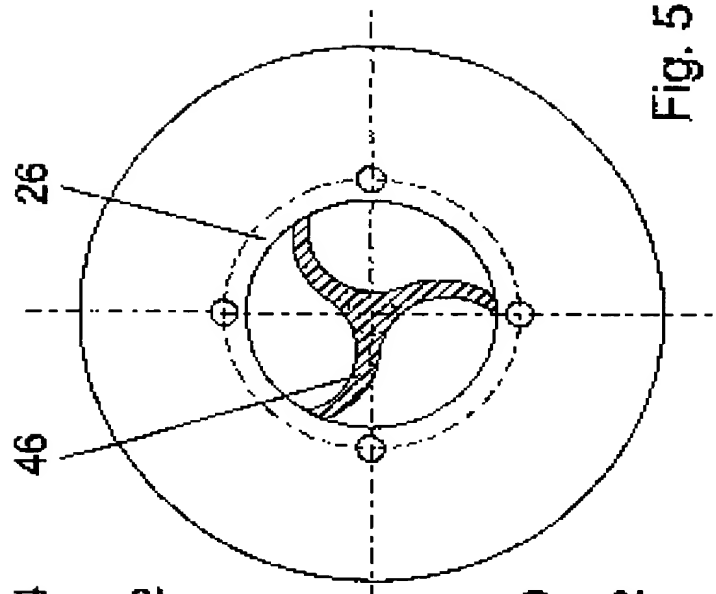
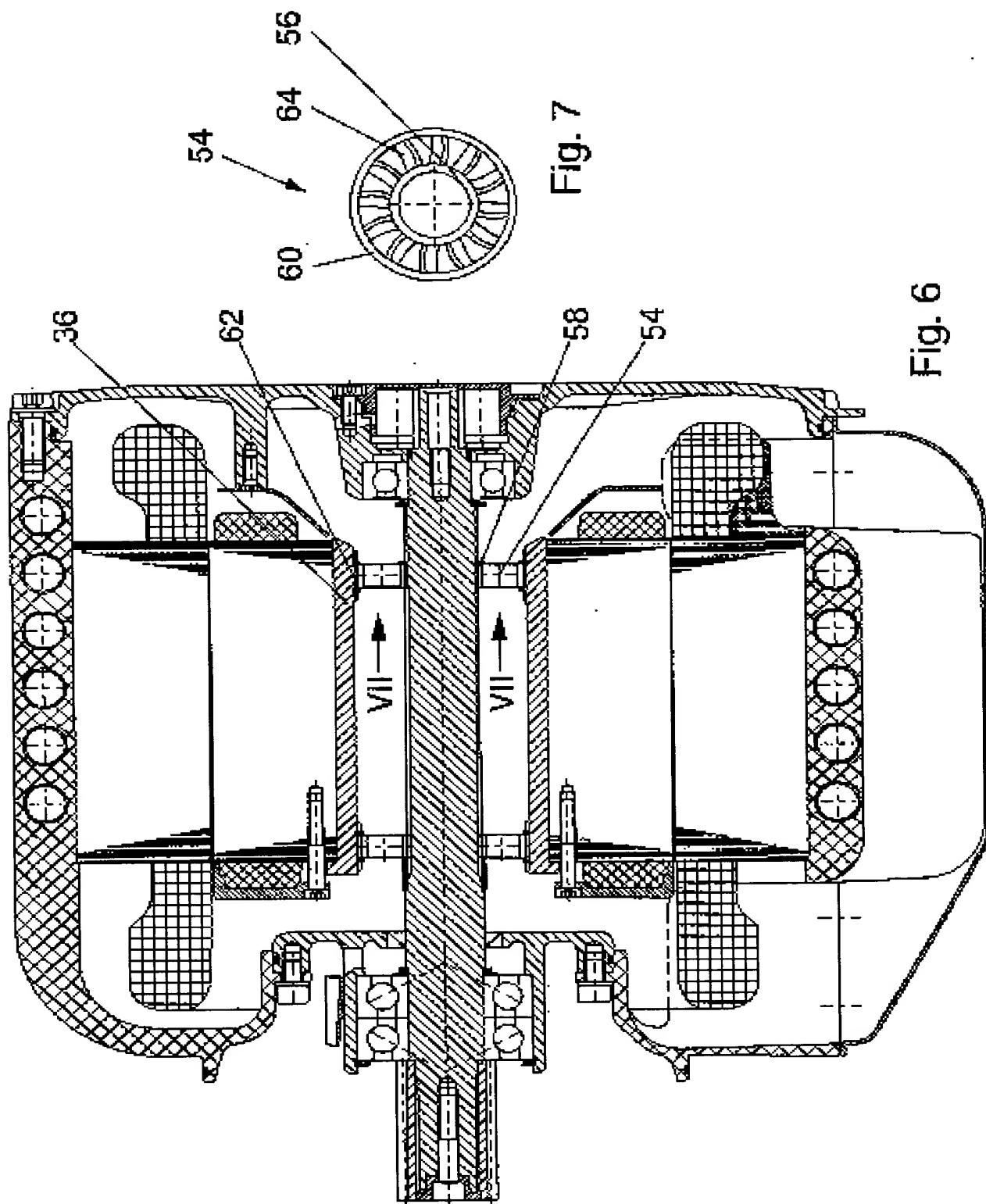


Fig. 5



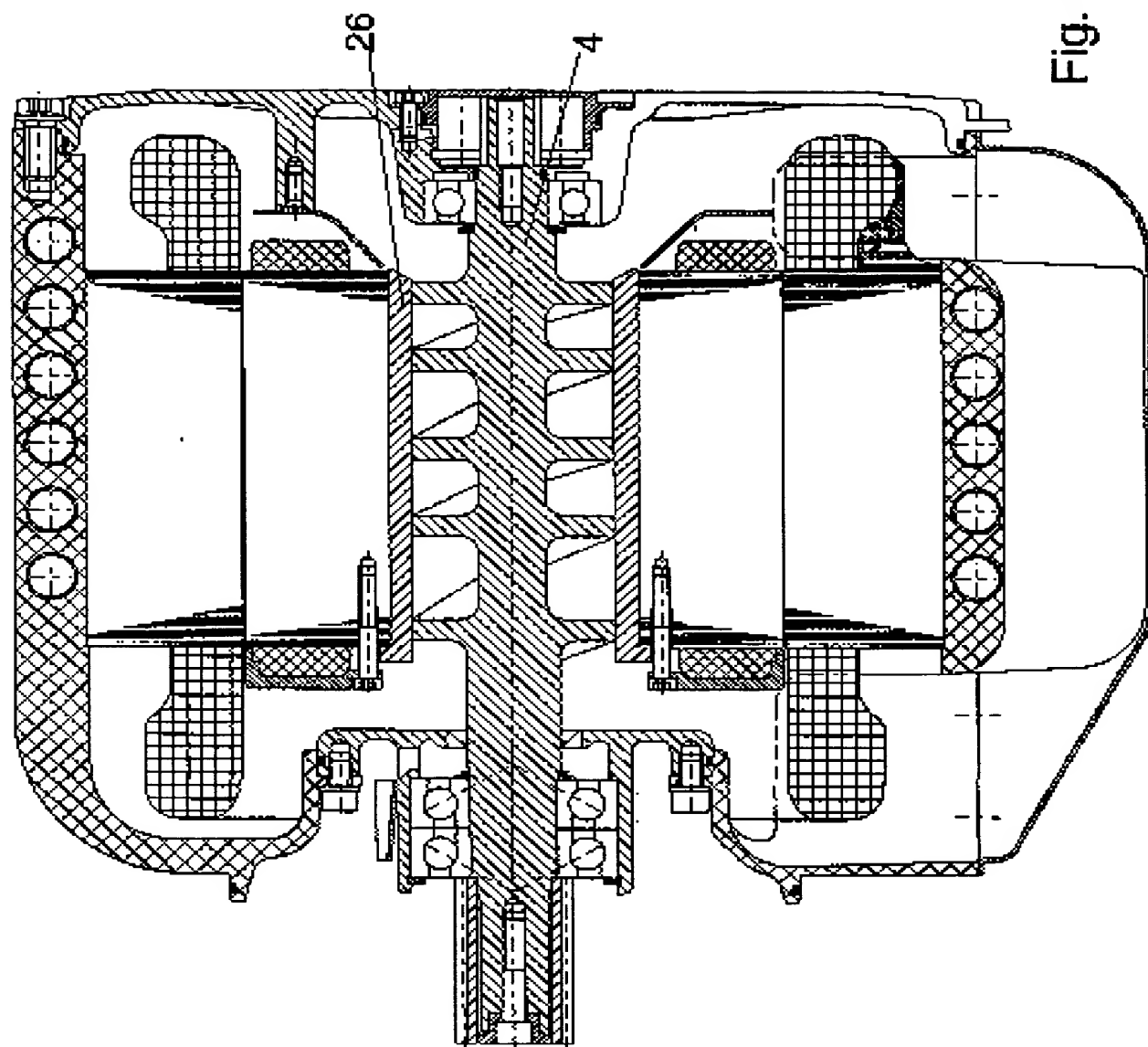
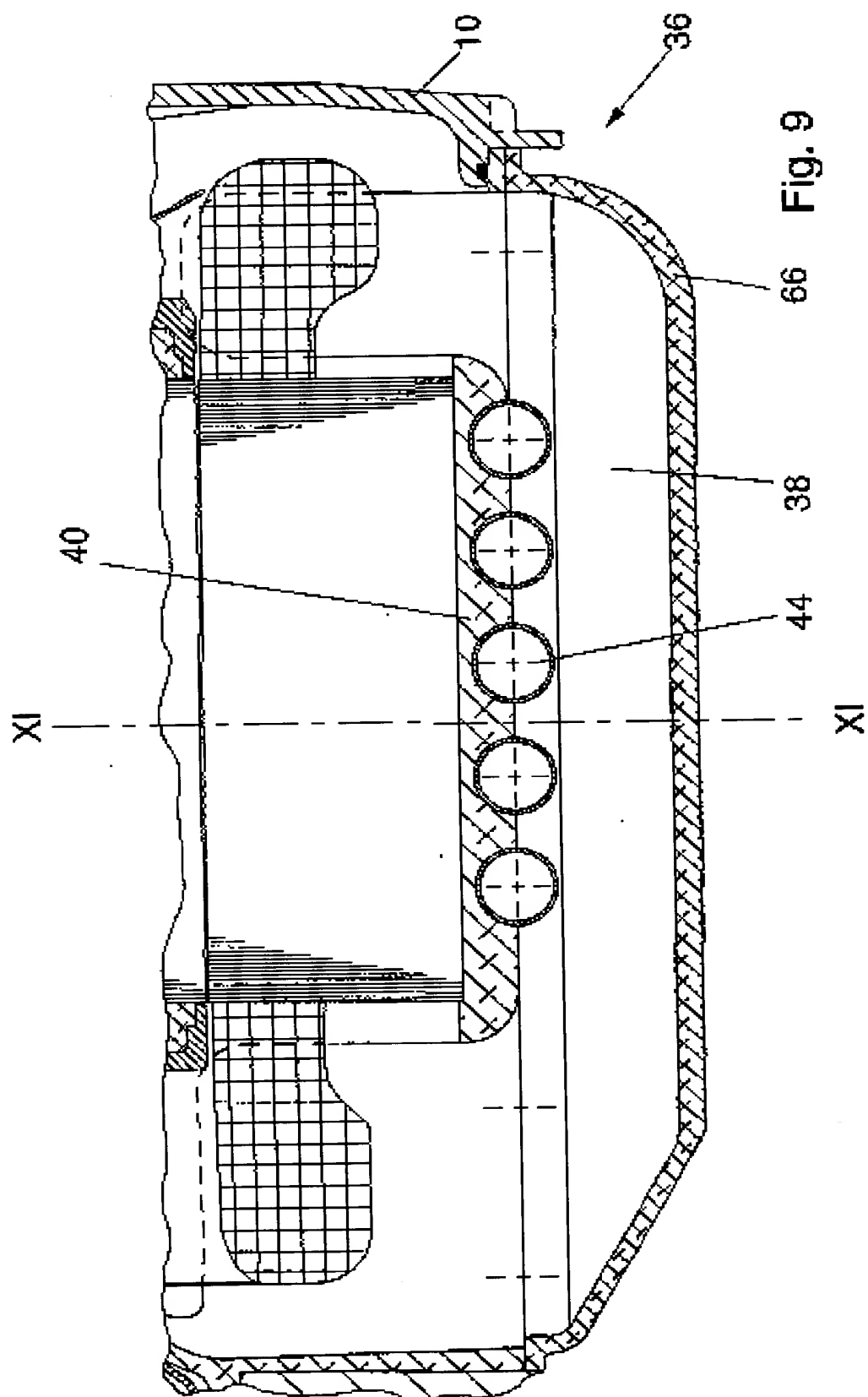
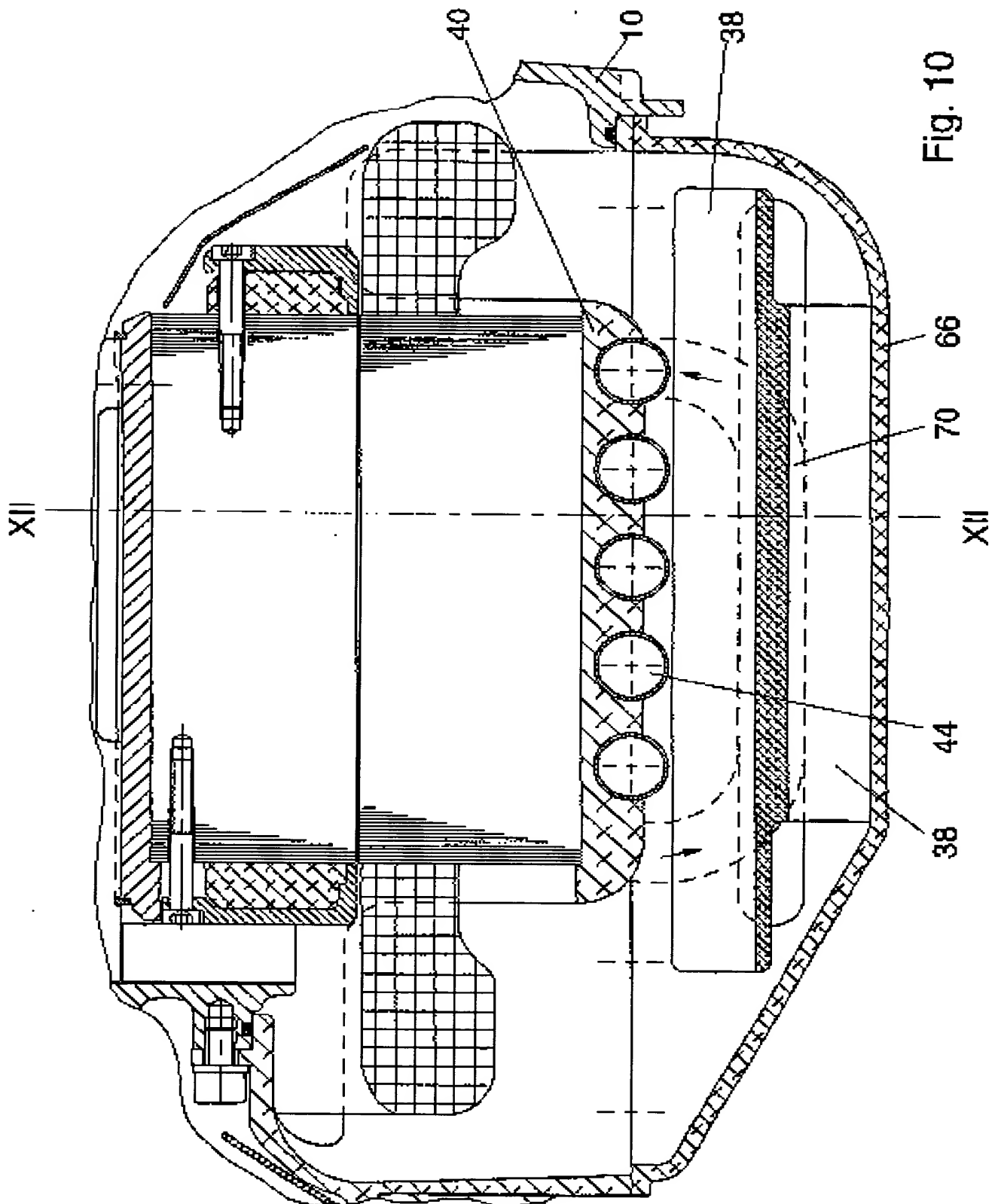


Fig. 8







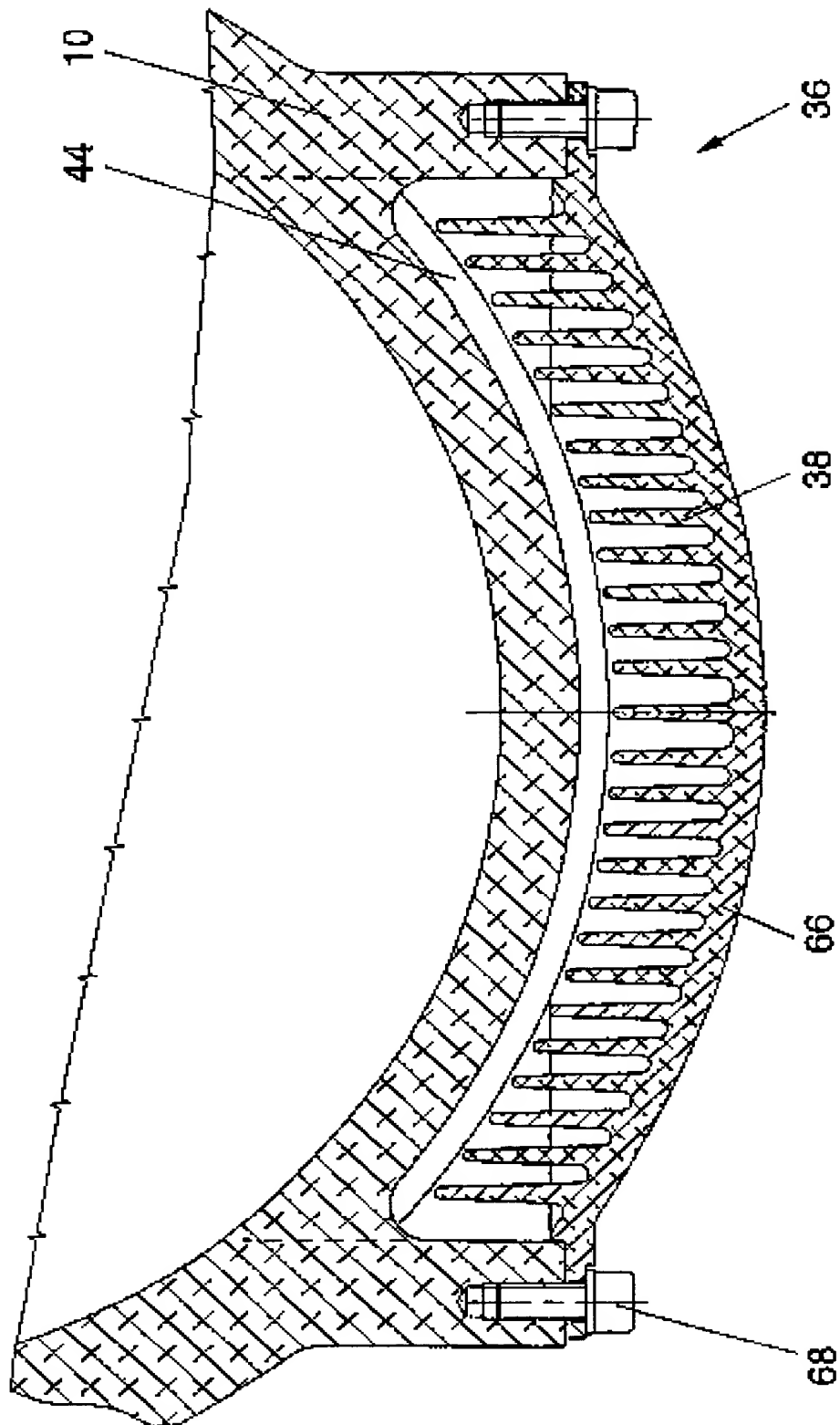


Fig. 11

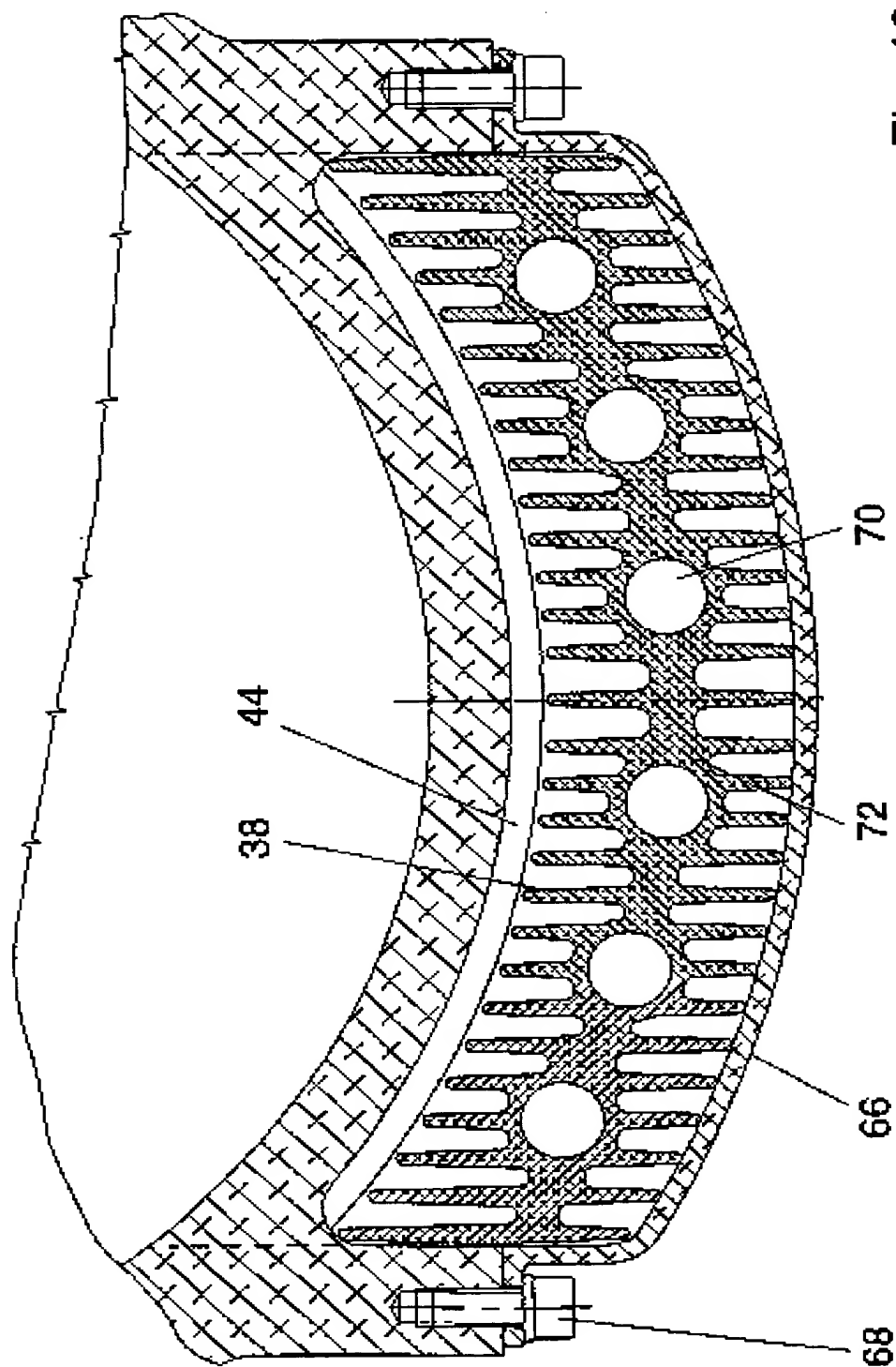


Fig. 12